



Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines

Danièle Patier, Jean-Louis Routhier

► To cite this version:

Danièle Patier, Jean-Louis Routhier. Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines. Les Cahiers scientifiques du transport , 2009, 55, pp. 11-38. halshs-00456068

HAL Id: halshs-00456068

<https://shs.hal.science/halshs-00456068>

Submitted on 11 Sep 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNE MÉTHODE D'ENQUÊTE DU TRANSPORT DE MARCHANDISES EN VILLE POUR UN DIAGNOSTIC EN POLITIQUES URBAINES

DANIÈLE PATIER JEAN-LOUIS ROUTHIER

LET

UNIVERSITÉ DE LYON (UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2, CNRS, ENTPE)

Depuis plusieurs décennies, de nombreuses enquêtes sont régulièrement menées sur les transports urbains de personnes, en particulier sur la mobilité quotidienne, afin de donner à l'aménageur le moyen de prévoir l'usage des infrastructures nouvelles pour en évaluer le rendement social. Il n'en est rien pour les transports de marchandises en ville (TMV). Longtemps, en ce qui concerne les marchandises, les objectifs des aménageurs étaient de dimensionner des infrastructures de transport à la mesure des impératifs de croissance économique, dans un espace encore peu congestionné. Ainsi, les efforts étaient surtout portés sur les échanges de longue distance ce qui fait que les enquêtes orientées vers la connaissance approfondie du transport urbain de marchandises restent peu développées.

1. POURQUOI DES ENQUÊTES TMV AUJOURD'HUI ?

Les enquêtes dédiées à la connaissance du transport de marchandises en ville

ne sont apparues que depuis une quinzaine d'années. Il y a de nombreuses raisons à cela. Dans les années 70, dans tous les pays d'Europe, le problème était de rendre le transport de marchandises, en zone urbaine, le moins pénalisant possible pour la circulation croissante des voitures particulières. Ainsi, pendant longtemps, le but a été de mettre en place des réglementations limitant le tonnage des véhicules « fret » autorisés à circuler dans les zones urbaines denses et fixant les périodes horaires pendant lesquelles ils étaient autorisés à charger ou décharger. Cela a contribué à l'éviction des sites logistiques en périphérie des villes et à la multiplication des centres de groupage-dégroupage hors des zones urbaines denses. Au niveau de l'État, on était surtout préoccupé par le développement d'infrastructures routières pour faciliter le trafic des poids lourds sur les grandes distances, l'un des enjeux étant l'éviction du transit des centres urbains, afin de limiter la congestion. De plus, considérées comme relevant de la sphère privée, les problématiques de transport de marchandises au niveau local n'étaient que partiellement prises en compte par les planificateurs. Aussi, jusqu'à un passé récent, les mouvements de marchandises en ville n'étaient pas un sujet d'étude et d'observation si bien que l'intégration du transport de marchandises dans les modèles de trafic urbain se résumait souvent à un facteur multiplicatif du trafic de voitures particulières.

Dans les années 90, face à la croissance rapide du trafic automobile dans les villes, les principaux enjeux sont devenus la lutte contre la congestion, la gestion de la rareté d'espace, la valorisation économique des espaces urbains centraux (sous contrainte d'une croissance économique ralentie), puis la réduction de la pollution locale et, plus récemment, la maîtrise des dépenses énergétiques et surtout la réduction des impacts environnementaux globaux (effet de serre). Ces enjeux se posent dans un contexte de plus en plus contraignant du point de vue des exigences de qualité de vie urbaine et de la relative pénurie de moyens financiers. D'où un malaise grandissant des professionnels et des collectivités locales, ces dernières ne disposant d'aucune donnée, méthode ou référence leur permettant d'adopter une ligne de conduite cohérente.

Dans cet article, nous analysons le cœur de la collecte de données sur les livraisons et enlèvements de marchandises destinée à rendre compte de l'ensemble des déplacements de marchandises générés par les établissements économiques de la ville.

En France, les trois enquêtes TMV réalisées entre 1995 et 1997 sont les premières enquêtes de grande envergure réalisées dans des villes de tailles différentes, à l'initiative du ministère des transports et de l'ADEME. Elles devraient prochainement être renouvelées. Nous décrivons ici la méthode innovante élaborée au Laboratoire d'Économie des Transports (LET) dans le cadre de ces enquêtes, qui ont permis de :

- faire un diagnostic des mouvements de véhicules de livraison pour l'ensemble des activités, en expliquant pourquoi, par qui et comment

- ces livraisons sont réalisées ;
- connaître les composantes du TMV ;
- mesurer l'occupation de la voirie par la circulation et le stationnement des véhicules de livraison ;
- évaluer la part des déplacements des marchandises dans le trafic urbain ;
- évaluer les effets externes des déplacements de marchandises ;
- mettre en évidence les ratios et relations fonctionnelles permettant de transférer les résultats à d'autres villes à l'aide d'un modèle de simulation sans refaire des enquêtes coûteuses.

2. LE CONTEXTE

Les publications qui font état d'enquêtes sur les transports de marchandises en ville sont rares. Encore plus rares sont les travaux méthodologiques approfondis sur ce thème (PATIER, ROUTHIER, 2009). Hormis quelques publications des simples résultats d'enquêtes, on trouve plus souvent des rapports techniques nationaux que des publications scientifiques. De ce fait, il manque souvent dans ces ouvrages des précisions importantes, comme les modes de tirage de l'échantillon ou bien les procédures de redressement des données, éléments indispensables pour obtenir les extrapolations nécessaires à la population de la ville tout entière. Dans cette partie, nous distinguons deux types d'enquêtes :

- les collectes de données habituelles, le plus fréquemment réalisées à des fins de mesure des trafics, mais non orientées vers la connaissance de la formation des flux de transport de marchandises en ville ;
- les enquêtes spécifiques dont le premier objectif est non seulement de décrire les flux urbains de marchandises mais aussi de tenter d'expliquer pourquoi et comment sont réalisés ces flux. Ces enquêtes sont rares et le plus souvent récentes.

2.1. LES COLLECTES USUELLES

2.1.1. Les enquêtes cordons et comptages

Les **enquêtes cordons** permettent d'appréhender les origine et destination de véhicules enquêtés sur voirie. On peut ainsi estimer une matrice origine-destination entre des zones extérieures et intérieures au cordon. L'échantillon est constitué d'un certain nombre de véhicules arrêtés au bord de la route, généralement à leur sortie de l'agglomération, tout au long d'une journée. Ces enquêtes sont très utiles pour mesurer le transit d'agglomération ou de zone, qui joue un rôle très important dans de nombreuses agglomérations situées sur des corridors importants. Le chauffeur est interrogé sur l'origine, la destination de son véhicule, son motif de déplacement, ainsi que la position de ses différents arrêts dans la zone d'étude. Les conditions d'administration

de ces enquêtes sont difficiles : problèmes de sécurité, risque d'encombrements, biais introduit par les conducteurs qui, souvent avertis par leurs collègues, choisissent un itinéraire d'évitement.

Ces enquêtes sont généralement complétées par des **comptages automatiques** à l'aide de câbles ou de boucles magnétiques. Dans les deux cas, il est possible de distinguer les véhicules légers (à deux essieux) des véhicules lourds (à plus de deux essieux). Ces comptages permettent notamment de redresser les résultats des enquêtes « cordon ».

2.1.2. Les enquêtes « usage des véhicules de livraison »

Deux types d'enquêtes sur l'usage des véhicules de transport de marchandises sont réalisées.

Les **enquêtes « TRM »**. En France, les enquêtes en continu sur les transports routiers de marchandises (TRM) concernent les véhicules lourds de plus de 3,5 tonnes de poids total autorisé en charge (PTAC). Elles sont réalisées pour le Service Économique, Statistique et de la Prévision (SESP) sur un échantillon représentatif de véhicules lourds répartis sur le territoire, tiré chaque trimestre, en conformité avec le standard européen CE 1172/98. Un questionnaire est envoyé tout au long de l'année aux propriétaires de véhicules qui remplissent un carnet de bord décrivant les trajets réalisés par le véhicule un jour de la semaine précédente (origine, destination, marchandises transportées, trajets à vide). Une base annuelle est mise à jour et permet d'estimer le trafic total réalisé chaque année en France par les véhicules concernés et d'en faire le lien avec la marchandise transportée d'une région à l'autre. Elle permet de calibrer les modèles de trafic interurbain. Comme les trajets de moins de 50 km, effectués dans les zones denses et incluant plusieurs arrêts ne sont pas pris en compte, une telle enquête est peu adaptée à la mesure des flux au niveau urbain. Elle est néanmoins utilisée pour calibrer un modèle de trafic sur l'Ile-de-France.

Les **enquêtes « VUL »**. Peu de pays réalisent des enquêtes périodiques sur les « Véhicules Utilitaires Légers ». En France, le SESP les réalise tous les cinq ans. Un échantillon représentatif est tiré du registre national des VUL. Chaque propriétaire reçoit un questionnaire par la poste et donne des informations sur l'usage moyen annuel des véhicules (part de l'usage personnel ou professionnel, urbain ou interurbain, part de marchandises, outils, matériel, personnes). Les enquêtes permettent d'évaluer l'usage des VUL (<3,5 T) les tonnes transportées et les types de produits selon 12 nomenclatures « NST » d'une région à une autre. Depuis 2000, un carnet de bord quotidien sur deux jours a été ajouté. Cela permet de mieux connaître l'usage des véhicules et où ils circulent.

Ces deux types d'enquêtes sont obligatoires pour les professionnels. Elles comportent un nombre limité de questions, car le taux de réponse diminue en fonction du nombre de questions. Cette restriction ne permet pas d'obtenir

une description fine des usages, concernant notamment les tournées complexes qui sont les plus courantes en milieu urbain : ne sont pas décrits les poids des produits déposés ou enlevés à chaque arrêt, la nature des marchandises, la durée des arrêts, la nature des activités visitées, ni l'itinéraire du véhicule.

2.1.3. Les enquêtes « suivi des marchandises »

Les enquêtes sur les envois de marchandises des lieux de production jusqu'aux clients finaux, enquêtes « Chargeurs » en 1998, « ECHO » en 2004 (RIZET et al., 2004), réalisées par l'INRETS permettent de suivre le cheminement des envois (ou filières) de l'expéditeur au destinataire, en repérant les opérateurs qui interviennent tout au long de la chaîne. L'information est collectée directement par courrier auprès des différents intermédiaires. L'objectif est d'identifier les déterminants logistiques en jeu tout au long de la chaîne de transport, pour analyser le comportement de chaque intermédiaire. Il est possible de comparer les flux réalisés dans les villes de classes de taille différentes (DUFOR, 1995). Cependant, ces enquêtes rencontrent plusieurs limites importantes :

- elles ne permettent pas de reconstituer les déplacements des véhicules en fin de chaîne (dernier kilomètre) ;
- les envois réalisés en compte propre sont rarement pris en compte ;
- la taille limitée de l'échantillon dans chaque ville ne permet pas un redressement à l'échelle urbaine.

De telles approches s'avèrent insuffisantes pour alimenter les réflexions des aménageurs locaux sur les transports urbains de marchandises.

2.2. LES APPROCHES RÉCENTES

Les revues de la littérature sur les collectes de données en transport de marchandises font rarement état de démarches spécifiques aux transports de marchandises en ville. Les travaux de synthèses présentés lors des *International Conference on Survey Methods in Transport* (GARRIDO, 2001 ; WERMUTH et al., 2004) montrent le manque d'analyses approfondies sur les méthodes d'enquêtes sur le transport de fret et sur les déplacements professionnels en général. Le thème connaît néanmoins actuellement un essor dans la plupart des pays industrialisés. La preuve en est avec les diverses revues de la littérature, qu'elles soient réalisées généralement à l'initiative des services des Etats, comme en France (CERTU-ADEME, 1998), aux USA (TRB, 2003), en Allemagne (WERMUTH et al., 2004), au Royaume-Uni (WSP, KATALYS, 2002), ou concernent l'Europe en général, avec d'une part les travaux de l'OCDE où le premier rapport sur les marchandises en ville a été réalisé (OECD, 2003) et d'autre part le recensement des travaux dans 17 pays européens dans le cadre du programme d'action de coordination FP6, Bestufs (Bestufs.net). Enfin, une comparaison entre les objectifs, les méthodes et les

résultats dans neuf pays industrialisés d'Amérique, d'Asie et d'Europe a été proposée par AMBROSINI et ROUTHIER (2004).

La revue la plus récente a été réalisée par un groupe d'experts européens rassemblés au sein de l'action de coordination Bestufs II (FP6). L'atelier « *Urban freight data collection harmonisation and modelling* » animé par le LET a produit un rapport détaillé sur les collectes de données réalisées dans 11 pays européens (BROWNE et al., 2006 ; BROWNE et al., 2007). Il ressort de ce travail que les avancées dans les méthodes de collecte des données sont récentes. C'est généralement le résultat de l'initiative des États plutôt que des villes. Citons à titre d'exemple la « *Company registered van survey* » du Département des transports du Royaume-Uni ou l'enquête nationale sur la mobilité réalisée en Allemagne (KID, décrite dans WERMUTH et al., 2004) qui ne se sont pas focalisées sur l'espace urbain et qui, de ce fait, n'apportent pas d'informations totalement satisfaisantes sur les comportements urbains des générateurs et des opérateurs de transport. D'autres collectes, ponctuelles, ont été réalisées à l'initiative de villes ou de régions. Hors Europe, les premières enquêtes qui, à notre connaissance, ont été réalisées spécifiquement dans l'espace urbain sont celles de Calgary et Edmonton au Canada (HUNT et al., 2005). En Europe, l'initiative française semble avoir joué le rôle de précurseur par la réalisation dès 1995 de grandes enquêtes totalement dédiées à l'amélioration de la connaissance des transports urbains de marchandises. Elles s'appuient sur une approche méthodologique innovante que nous présentons en section 3.

Pour compléter cette revue, nous décrivons maintenant cinq enquêtes de type différent, dont nous avons trouvé une description suffisamment détaillée. Lorsque cela a été disponible, nous avons tenté de préciser pour chaque cas le domaine d'application (local, régional, national, types de déplacements enquêtés), l'objectif de l'enquête, l'unité d'observation choisie (véhicule, marchandise, livraison), les villes concernées, les méthodes d'échantillonnage et de pondération, les modes d'administration, les contrôles et la validation, le budget, les principaux résultats et indicateurs produits.

2.2.1. Les enquêtes canadiennes « déplacements professionnels »

Ces enquêtes ont été réalisées à Edmonton et Calgary. Leur objectif était de définir et de mesurer les facteurs de génération des trafics de marchandises et des déplacements liés aux services générés par les entreprises, mais aussi de décrire les organisations du transport et de la logistique mis en œuvre. Six questionnaires ont été administrés concernant respectivement les « établissements », les « entrepôts », les « envois de marchandises », les « marchandises entreposées », les « véhicules de marchandises », les « véhicules de services ». A Calgary, 3 000 établissements parmi 16 000 initialement contactés ont répondu à l'enquête. A Edmonton, 4 300 établissements ont répondu. Pour obtenir les résultats sur chaque région urbaine dans sa globalité, un

coefficient de redressement a été calculé selon la taille de l'établissement, la catégorie d'activité et la localisation. Les résultats ont permis de calculer des flux de véhicules affectés sur le réseau et ces derniers se sont avérés proches des comptages réalisés par catégorie de véhicule. Ils ont montré une prédominance des véhicules légers, résultat considéré comme contre-intuitif par les auteurs. Un modèle de micro-simulation des mouvements de véhicules commerciaux s'appuie sur les données produites par ces enquêtes (HUNT et al., 2005).

2.2.2. Une enquête aux Pays-Bas

Un modèle de génération (IDING et al., 2002) a été construit sur la base des résultats d'une enquête épistolaire de grande taille envoyée à 10 000 entreprises de plus de 5 employés. Le taux de réponse a été de 15 %. Le questionnaire, volontairement court, comportait des questions sur l'activité de la firme, sa superficie, son nombre d'employés, ainsi que le nombre moyen de camions livrant et enlevant de la marchandise par unité de chargement, par type de véhicule selon l'organisation du transport. L'enquête donne une bonne estimation des trafics générés par branche. Un calcul de régression du nombre des livraisons et enlèvements réalisés par branche selon la surface et le nombre d'employés de l'entreprise a été réalisé. Selon le secteur d'activité, l'effet du nombre d'employés sur le nombre de livraisons diffère de celui calculé sur le nombre d'enlèvements de marchandises. Les différences régionales ne sont pas significatives. Une des carences de cette enquête est qu'elle ne s'adresse qu'aux établissements de plus de 5 salariés : en France, les enquêtes ont montré que les établissements de moins de 5 salariés généraient 50 % des livraisons et enlèvements réalisés dans une agglomération.

2.2.3. Les enquêtes en Italie (Emilie-Romagne)

Dans le cadre du projet Interreg III Cityport (ROSINI, 2005), plusieurs villes d'Emilie-Romagne ont été enquêtées. Un questionnaire a été administré auprès d'un échantillon d'établissements représentatifs selon la nature de l'activité et le nombre d'emplois. Chaque établissement décrivait ses chaînes d'approvisionnement, son environnement et les conditions de chargement et de déchargement. La taille de l'échantillon était généralement assez modeste (moins de 500 établissements à Bologne). Les opérateurs de transports locaux ont également été enquêtés sur leur flotte et leur activité de transport sur une semaine. La méthode d'échantillonnage et de calcul de la génération s'est inspirée des enquêtes françaises décrites en section 3. Un modèle de génération de la demande de transport urbain de marchandise en est issu (GENTILE, VIGO, 2007).

2.2.4. Une enquête VUL en Ile-de-France

Une enquête sur les véhicules utilitaires légers a été réalisée en Région Parisienne entre 2000 et 2002 par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme

de la Région Ile-de-France (IAURIF, 2004). Elle comporte quatre volets, réalisés en face à face : une enquête auprès de 1 598 chauffeurs-livreurs sur les lieux de livraison ; une autre auprès de 1 299 chauffeurs sur les lieux d'enlèvement de la marchandise ; une enquête auprès de 1 620 conducteurs de VUL aux principaux péages d'autoroute (véhicules dont le point d'origine est extérieur à l'aire d'étude) ; enfin, 3 295 établissements de commerce de quartier, grandes enseignes, commerce de gros et artisanat ont également été interrogés.

Cette enquête avait pour objet de compléter les enquêtes « TRM » auprès des conducteurs de poids lourds ($>3,5$ T.). Les champs sur lesquels se fondait chaque volet de cette enquête ne décrivaient pas le même fait. C'est la raison pour laquelle, malgré la richesse des questions posées et la taille importante des échantillons, les résultats obtenus ont pu diverger d'un volet à l'autre. Ils n'ont donc pas pu être consolidés ni faire l'objet de redressements à l'ensemble de l'aire d'étude. Nous aborderons plus loin les précautions méthodologiques nécessaires pour permettre de mettre en cohérence les résultats d'enquêtes auprès d'établissements et auprès de chauffeurs et de construire des coefficients de redressement pertinents. Cette enquête a néanmoins apporté un éclairage sur les pratiques de livraison en VUL, ainsi que les types d'opérateurs et d'organisations associées aux différentes activités.

2.2.5. Les enquêtes en Allemagne (Hambourg et Dresde)

Une enquête sur les déplacements professionnels (personnes et marchandises) a été réalisée en 2000-2001 à Hambourg et Dresde (STEINMEYER, 2003, cité dans WERMUTH et al., 2004). L'objectif principal a été d'estimer l'importance des déplacements professionnels dans le trafic urbain. A partir du nombre d'employés total et du nombre d'employés « mobiles » déclarés par chaque entreprise, un nombre de véhicules utilisés par motif dans chaque activité a pu être estimé. Une enquête à deux étapes a été réalisée : l'une, auprès des entreprises (*business survey*) a permis de mettre en rapport les caractéristiques de l'entreprise avec ses véhicules et ses employés ; l'autre consiste à faire remplir un carnet de bord sur un jour pour chaque véhicule commercial de l'entreprise. En ce qui concerne les marchandises, étant donnée la non-exhaustivité des activités décrites (ni les activités de transport ni l'entrepôt ne sont enquêtés), il n'a pas été possible de mesurer, à l'aide de cette enquête, les flux de véhicules générés par le transport de marchandises de l'ensemble des activités urbaines. Cette approche a permis néanmoins de montrer l'intérêt de recenser les employés « régulièrement mobiles » au sein d'une activité. Un résultat intéressant peut être rapproché de ceux que nous avons trouvés pour les déplacements de marchandises dans les enquêtes françaises : le nombre de sorties et de déplacements par emploi « mobile » d'une activité donnée est jugé transférable, c'est-à-dire qu'il est indépendant de la ville d'enquête.

2.3. CONCLUSION

Ce rapide état des lieux montre la diversité des méthodes de collecte d'informations sur le transport de marchandises en ville. Les enquêtes usuelles prennent généralement comme unité statistique le véhicule, observé sur la voirie ou auprès de l'entreprise qui l'utilise. Elles apportent de l'information sur les usages et les trafics de ces véhicules à l'échelle d'un pays ou d'une région, mais elles ne permettent pas de connaître avec précision ni les itinéraires réalisés par ces véhicules (problème de la description de tournées urbaines plus ou moins complexes) ni les relations entre les comportements logistiques des établissements générateurs et les flux observés.

Les enquêtes récentes plus spécifiquement orientées vers la connaissance des flux urbains de marchandises sont soit réduites à une rue ou un quartier, pour apporter un éclairage ponctuel sur un problème local, soit réalisées à l'échelle d'une agglomération. Comme elles sont très coûteuses, ces dernières font encore figure d'exception. Elles ont été le plus souvent réalisées à l'initiative ou avec l'aide de l'État, d'une Région ou d'une Province. C'est le cas dans trois villes françaises (section suivante), en Italie, avec les enquêtes coordonnées par la Région d'Emilie Romagne dans plusieurs villes moyennes, ou encore au Canada, avec deux enquêtes sur les déplacements professionnels et de marchandises de grande envergure, réalisées à Calgary et Edmonton (villes de 1 million d'habitants), avec l'aide financière de la province d'Alberta.

3. L'APPROCHE FRANÇAISE : LES ENQUÊTES DU GÉNÉRATEUR AU CHAUFFEUR LIVREUR

À l'initiative du ministère des transports et de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le LET a construit et analysé trois grandes enquêtes entre 1994 et 1997 à Bordeaux, Dijon et Marseille (PATIER et al., 1997 ; PATIER et al., 2000) afin de produire les éléments quantitatifs nécessaires à la prévision de la demande et à la mesure des trafics générés dans les villes françaises. La première enquête approfondie a été réalisée à Bordeaux en 1994-95 avec une active participation des autorités locales. Dans chaque ville, la même méthodologie a été retenue. Les résultats ont fourni une base de données pour le calibrage du modèle de simulation FRETURB (ROUTHIER et al., 2001) et une aide à la décision pour les plans de déplacements urbains dans plusieurs villes moyennes françaises.

3.1. ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE

Le transport de marchandises dans la ville est réalisé par des opérateurs divers (en compte propre ou en compte d'autrui), à l'aide de véhicules très différents (de la fourgonnette à l'ensemble articulé), pour livrer des biens de poids, volume et conditionnement également très variés (du pli express au lot complets), avec des fréquences et des rythmes liés aux exigences de flux tendu ou de juste-à-temps des chaînes logistiques et des activités desservies.

Tous ces éléments font système au sein de ce que l'on appelle la logistique urbaine. Aussi, pour permettre de calculer et d'expliquer ses effets externes en termes de congestion, de consommation d'énergie et d'effets sur l'environnement, une enquête sur le transport de marchandises en ville doit satisfaire des exigences particulières.

Trois questions se posent : quelle variable faut-il mesurer pour permettre de rendre compte de ces effets externes ? Quelle unité statistique faut-il observer pour établir un bon système explicatif du phénomène observé ? Qui est le mieux à même de fournir les informations demandées (définir le champ d'observation) ? De plus, afin d'assurer leur opérationnalité, il convient de s'assurer que les enquêtes respectent trois principes liés entre eux : la cohérence (condition de non contradiction mais aussi cohérence avec les objectifs de l'enquête), la pertinence (nécessaire pour refléter la situation actuelle) et la mesurabilité (condition d'évaluation et de vérification des résultats) (BONNAFOUS, 2000).

Compte tenu des acquis des longues années d'administration d'enquêtes sur les déplacements de personnes, il est tentant de les transposer aux marchandises. Pour cela, il est nécessaire de réexaminer l'approche traditionnelle des déplacements de personnes fondée sur le modèle gravitaire à quatre étapes (génération de la demande, choix modal, distribution zone à zone, affectation du trafic sur le réseau). C'est, pour les déplacements de personnes, une réduction de la question qui permet de prévoir le trafic routier ou l'usage des transports publics. Il est vite apparu qu'une telle approche n'était pas transposable aux déplacements des marchandises en ville. En effet, une matrice origine-destination (O/D) des marchandises transportées en ville, qu'elle soit estimée par une enquête ou simulée à l'aide d'un modèle, ne peut se traduire simplement par des flux O/D de véhicules : une tonne (ou un mètre cube) de produits émis d'une zone origine à une zone de destination peut être acheminée soit en « trace directe » entre les deux zones, soit fractionnée en un grand nombre de petits colis dont certains seront transportés directement et dont d'autres seront livrés à la faveur d'une « tournée » pouvant donner lieu à des dizaines de livraisons. Or, environ 75 % des livraisons et enlèvements sont réalisés en tournées plus ou moins complexes (PATIER, ROUTHIER, 1997).

3.1.1. Quelle variable mesurer?

Si nous essayons de focaliser notre objectif sur la gestion de l'espace urbain pour limiter la congestion et réduire les nuisances, la principale question à propos du transport de marchandises en ville est l'**occupation de la voirie** par les véhicules de livraison, qui entrent en compétition avec d'autres usages (véhicules des particuliers, transports collectifs, espaces de circulation des modes doux, trottoirs). L'occupation de la voirie est à considérer selon ses deux composantes que sont les véhicules en circulation et ceux qui sont en stationnement pour livraison, ce qui permet d'expliquer la congestion et les conditions d'accessibilité.

3.1.2. Choix de l'unité d'observation

L'objectif ici est donc avant tout d'observer, de mesurer et de comprendre comment le TMV participe à l'occupation de la voirie qui est un espace rare. Ce sont donc les mouvements de véhicules induits par les expéditions et réceptions qui nous intéressent davantage que les flux de marchandises eux-mêmes. Ces mouvements, considérés en tant que consommateurs d'espace, désignent non seulement les déplacements des véhicules, mais aussi les lieux et conditions de stationnement pour les livraisons et la durée d'occupation de ces lieux. Dès lors, il ne s'agit pas tant de savoir ce qui sera emporté en zone i pour être livré en zone j que de repérer les mouvements de véhicules dans les zones i et j.

Pour observer la manière dont s'organise, dans l'espace et dans le temps, la séquence d'arrêts et de déplacements, la connaissance du flux de véhicules doit donc passer par une analyse des itinéraires. Pour cela, beaucoup d'approches statistiques sont concevables. Chacune se caractérise principalement par l'unité statistique d'observation qui est retenue. Plusieurs unités peuvent être utilisées :

- un segment de rue sur lequel les mouvements de véhicules sont comptés ;
- la totalité de la tournée qui décrit l'itinéraire et les arrêts des véhicules ;
- les établissements qui génèrent les mouvements de véhicules.

Chacune d'elles soulève des difficultés (problème de représentativité de l'échantillon pour la première, impossibilité de lier l'observation avec les statistiques urbaines connues pour la seconde). Tenant compte de ces contraintes, le *mouvement* défini comme *l'événement correspondant à une réception ou un enlèvement de marchandise ou les deux en même temps, réalisé par un véhicule dans un établissement donné* a été considéré comme étant l'unité d'observation statistique la plus pertinente. En effet, l'observation du mouvement permet de faire le lien entre les déterminants économiques et logistiques de la demande de livraisons ou enlèvements dans un établissement et le mode d'organisation du système de transport mis en œuvre pour satisfaire cette demande. Il est ainsi possible d'établir le lien entre les activités économiques et l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison. En évitant les difficultés inhérentes à l'identification des flux origine/destination de la marchandise, ce choix permet d'assurer le compromis nécessaire entre cohérence, pertinence et mesurabilité qui en assure l'opérationnalité.

3.1.3. Choix du champ d'observation

Deux acteurs principaux sont impliqués dans la réalisation du mouvement. Il s'agit de l'établissement (réceptionnaire ou expéditeur) et de l'opérateur de transport (en l'occurrence le chauffeur livreur). Par exemple, le nombre et le type de véhicules utilisés pour livrer un établissement dépend du type de

produit transporté, de son conditionnement, de son poids, de son volume et aussi de la fréquence des livraisons. Comme nous l'avons constaté précédemment, de telles données ne sont pas collectées dans les statistiques habituelles, ni au niveau local, ni au niveau régional. Sous l'hypothèse que les flux dépendent de l'activité, il est donc nécessaire d'enquêter les établissements générateurs de flux. En effet, c'est seulement auprès de ces derniers que l'on peut recueillir les informations telles que les contraintes relatives aux produits à transporter, combien et quels types de véhicules s'arrêtent chaque jour dans l'établissement. En revanche, c'est le chauffeur qui est le mieux à même de décrire son parcours et la logique de la tournée au cours de laquelle il a visité l'établissement.

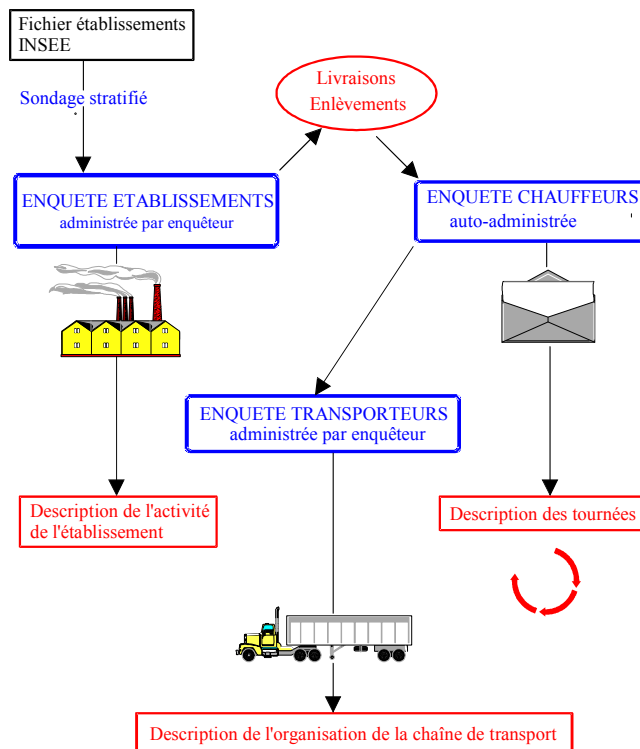
3.1.4. La méthode d'enquête

En conséquence, la première enquête réalisée à Bordeaux (750 000 habitants) a été construite selon trois sous-enquêtes emboîtées (Figure 1) (PATIER, ROUTHIER, 1997).

Une enquête « établissements ». L'enquête est réalisée auprès des établissements qui émettent ou reçoivent des marchandises (toutes activités industrielles, commerciales ou tertiaires). Elle permet, grâce à un questionnaire d'informations générales, de décrire l'activité de l'établissement, ses possibilités de stockage et de stationnement, son parc de véhicules, son environnement, etc. Elle est administrée en face à face par un enquêteur auprès d'un responsable de l'établissement. Un « **carnet de bord** », remis au responsable logistique de l'établissement (dans les gros établissements) ou aux dirigeants (dans les petits établissements), permet de recueillir les éléments chiffrés de l'ensemble des mouvements d'entrée et sortie des marchandises sur une semaine. Il se compose d'une série de « **fiches opérations** » dans lesquelles sont reprises les caractéristiques des différents types de livraisons de la semaine. Il y a autant de fiches que de type de marchandises et opérateurs de transport différents. A chaque fiche est affecté un questionnaire « chauffeurs-livreurs » détachable qui est remis à la personne ayant assuré le transport de la marchandise. Chaque fiche rassemble des informations relatives à la semaine d'enquête : la quantité de mouvements hebdomadaires, le déroulement de la livraison ou de l'enlèvement (lieu, heure, type de véhicule, durée de la manœuvre...), le nom du transporteur, ainsi que la fréquence des livraisons ou enlèvements, les produits transportés (nature, conditionnement, poids, origine ou destination).

L'enquête est réalisée sur sept jours consécutifs, hors jours fériés. La fréquence d'approvisionnement de la majorité des établissements est le plus souvent la semaine et non le jour ou le mois et il existe une grande variété de modes de gestion et d'organisation des livraisons sur la semaine. C'est pourquoi la majorité des résultats sont calculés à la semaine. Afin d'évaluer les variations saisonnières des mouvements, des questions sur les rythmes hebdomadaires et mensuels sont posées.

Figure 1 : Méthode d'enquête TMV à Bordeaux



Une enquête « chauffeurs-livreurs ». L'enquête chauffeurs-livreurs est réalisée auprès des personnes ayant assuré la livraison ou l'enlèvement d'une marchandise dans un établissement en compte propre ou compte d'autrui. Celle-ci est auto-administrée. Les questionnaires sont confiés aux chauffeurs dans l'établissement enquêté à l'occasion d'une livraison ou d'un enlèvement et sont retournés par la poste. Le chauffeur décrit son « parcours », c'est-à-dire le nombre d'arrêts effectués dans la ville, le nombre de kilomètres parcourus, le type et tonnage de son véhicule, les moyens de manutention utilisés, l'origine et la destination du trajet et la nature du local où est chargée ou livrée la marchandise. Le cheminement du véhicule est décrit : l'itinéraire est tracé sur un fond de carte de l'agglomération, le nombre, l'emplacement et le temps des arrêts effectués au cours de la tournée, le kilométrage parcouru, le temps et le lieu de stationnement (PATIER et al., 2004).

Une enquête « transporteurs ». Les entreprises de transport les plus concernées auxquelles appartenaient les chauffeurs ont été interrogées. L'enquête est administrée en face à face. Elle décrit l'activité de l'entreprise (lot, messagerie, transport local, national, international, parc de véhicules, effectif), les schémas d'organisation de la chaîne de transport, les rythmes de livraisons (horaires, hebdomadaires, mensuels et annuels), le parc de véhicules affectés aux livraisons dans la ville, le mouvement des camions, le

nombre de livraisons et enlèvements ainsi que le nombre de tournées par jour, par tranche horaire, et type de véhicule. L'organisation de l'entreprise (localisation des plates-formes, chaînes logistiques par lesquelles les approvisionnements et enlèvements s'effectuent, nombre de tournées, nombre et type des véhicules impliqués) est également décrite.

3.2. LA POPULATION DE RÉFÉRENCE DE L'ENQUÊTE

Choix de la ville. Mener ce type d'enquête repose sur un engagement du responsable de la gestion du système de transport urbain. Dans le cas de la première enquête, la Communauté Urbaine de Bordeaux s'est fortement impliquée. Au sein d'un comité de pilotage, l'engagement de la collectivité, des chambres de commerce et de l'industrie et des associations professionnelles de transporteurs doit être acquis pour faciliter la promotion de l'enquête.

Choix du périmètre. Le périmètre d'étude est limité aux zones où la densité d'établissements par rapport à la voirie disponible est forte. C'est pourquoi le périmètre retenu a été celui de l'agglomération au sens de l'INSEE. Afin de permettre une correspondance avec des indicateurs démographiques et de déplacements de personnes, un zonage compatible avec celui de l'enquête déplacements auprès des ménages de Bordeaux a été retenu.

Choix de l'échantillon. La base de sondage utilisée pour effectuer le tirage de l'échantillon d'établissements à enquêter est extraite du registre d'établissements SIRENE (Système Informatique pour le Répertoire des ENTREPRISES et des Établissements) de l'INSEE. Les effectifs salariés des établissements publics (éducation nationale, collectivités, poste, hôpitaux) ne sont pas répertoriés dans les fichiers INSEE. Ils ont donc fait l'objet d'une étude particulière. Ces activités peu génératrices concentrent à elles seules 25 % des emplois de l'agglomération. Cela fait que 38 507 établissements parmi les 40 466 recensés dans l'agglomération bordelaise sont représentés par l'échantillon.

3.3. LA MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE DES ÉTABLISSEMENTS

Tout d'abord, ont été identifiés les types d'activités pour lesquelles l'hypothèse a été faite de l'existence d'une homogénéité des pratiques logistiques. Une typologie d'établissements qui combine les effets de l'activité, de la nature du local et de la taille de l'établissement a été constituée. A Bordeaux, où 1 500 établissements ont été enquêtés, 37 classes ont été distinguées selon les activités et la taille de l'établissement. Un échantillon d'établissements stratifié selon ces 37 classes a été constitué à partir du fichier SIRENE. Un tirage au énième sur le fichier trié par rue et par commune à l'intérieur de chaque strate a assuré une bonne couverture spatiale de chacune des strates. La nature de l'établissement (surface de vente, atelier, usine, dépôt), le nombre d'établissements dans l'entreprise et le statut (siège social ou non) ont été pris en compte afin de distinguer les unités de production des entrepôts et des établissements de bureaux.

La variance du nombre de livraisons et d'enlèvements par établissement expliquée par cette typologie est satisfaisante sur le plan statistique. Le rapport entre la variance calculée sur l'échantillon stratifié et la variance de ce même échantillon considéré comme aléatoire simple permet de mesurer l'effet de la stratification (Encadré 1). A Bordeaux, la précision sur l'estimation de la moyenne du nombre de mouvements est ainsi multipliée par 2,6.

Encadré 1 : Gain de précision obtenu par la stratification de l'échantillon (Bordeaux)

A Bordeaux, la moyenne pondérée selon les 37 strates du nombre moyen de mouvements générés par un établissement de l'échantillon s'élève à $\bar{X} = 7,44$ mouvements par semaine.

La variance de \bar{X} en tenant compte de la stratification est : $\sigma_s^2(\bar{X}) = 0,26$.

La variance de \bar{X} si l'échantillon est considéré comme aléatoire simple est : $\sigma_{sas}^2(\bar{X}) = 0,69$.

Le rapport entre les deux estimations nous donne une idée de l'influence de la stratification sur la précision des moyennes estimées : $\sigma_{sas}^2(\bar{X}) / \sigma_s^2(\bar{X}) = 2,6$.

3.4. LA MÉTHODE DE REDRESSEMENT

Le redressement consiste à affecter un coefficient de pondération à chaque entité mesurée sur l'échantillon, afin de permettre l'extrapolation des résultats calculés sur l'échantillon à la population entière. Nous décrivons ici les redressements effectués sur les deux échantillons de l'enquête : celui des établissements et celui des chauffeurs-livreurs. Une post-stratification en 72 classes a été réalisée pour construire des classes plus homogènes en termes de nombre de mouvements hebdomadaires.

Redressements sur les établissements. Le taux de sondage r_s de chaque post-strate s dans la population d'établissements de l'aire d'étude est aussi l'inverse du poids p_s dont il faut affecter chaque établissement de s pour obtenir par sommation le nombre total d'établissements de type s dans l'aire d'étude.

Les mouvements ont été relevés sur une semaine à l'aide d'un carnet de bord. Ainsi, le nombre hebdomadaire de mouvements M_s de véhicules générés par l'ensemble des établissements de la post-strate s est calculé comme suit :

$$M_s = \sum m_{se} \cdot p_s$$

où m_{se} est le nombre de mouvements générés par l'établissement e de la post-strate s .

Un certain nombre de mouvements n'ont pu être décrits correctement ou ont été oubliés. Il a donc été nécessaire d'effectuer des corrections au niveau de chaque établissement, afin de permettre une extrapolation des résultats issus des fiches décrivant chaque type de mouvement. En effet la somme des mou-

vements décrits sur les fiches sur une semaine était souvent inférieur au nombre de mouvements hebdomadaires déclarés ailleurs par le répondant. En moyenne, on a constaté un déficit de 20 % entre le nombre de mouvements obtenu par sommation des fréquences issues des fiches et le nombre de mouvements réellement réalisés. Le coefficient multiplicatif c_e à affecter aux caractéristiques des mouvements décrits dans les fiches pour les extrapoler à la population toute entière s'écrit alors :

$$c_e = m_{se} / \sum f_e$$

où f_e désigne le nombre de mouvements obtenus par la sommation des fréquences hebdomadaires des fiches opérations

Redressements sur les chauffeurs-livreurs. L'enquête chauffeurs résulte d'un tirage au troisième degré avec probabilités inégales. La probabilité de retour de la part des chauffeurs des établissements enquêtés est beaucoup plus forte que celle des professionnels du transport. Cette contrainte nécessite donc un calcul adapté en termes de redressement des résultats obtenus sur l'échantillon des chauffeurs afin de corriger les deux principaux biais que nous avons identifiés. Il s'agit :

- d'une part de la distorsion entre le nombre de mouvements générés par les différents types d'activité des établissements touchés par les chauffeurs et le nombre de mouvements générés par l'ensemble des fiches mouvements décrites dans l'échantillon des établissements, pour chaque mode de gestion ;
- d'autre part, de la différence significative entre le taux de retour des questionnaires, selon l'appartenance ou non du chauffeur à l'établissement enquêté.

Aussi, nous avons effectué le redressement selon le type d'activité de l'établissement visité a (industrie, artisanat, commerce de gros, commerce de détail, grands magasins, artisanat, agriculture) et son mode de gestion g en 5 classes (en compte propre (c.p.) destinataire effectué par l'établissement, en c.p. destinataire non effectué par l'établissement, en c.p. expéditeur effectué par l'établissement, en c.p. expéditeur non effectué par l'établissement, en compte d'autrui).

Le poids en nombre de parcours d'un chauffeur de type (g,a) s'écrit :

$$r\text{-}parc(g,a) = Nbmvmt(g,a) / Nbmvparc(g,a)$$

où $Nbmvmt(g,a)$ est le nombre redressé de mouvements calculé à partir du fichier des établissements pour chaque type (g,a) dans l'agglomération et $Nbmvparc(g,a)$ désigne le nombre total d'arrêts des parcours des chauffeurs de type (g,a) dans l'échantillon.

Le poids en nombre de mouvements d'un chauffeur de type (g,a) dans la population totale s'écrit ainsi :

$$r\text{-}chauf = r\text{-}parc(g,a) * nbstop$$

avec $nbstop$ le nombre d'arrêts de la tournée d'un chauffeur de type (g,a) .

De plus, les mouvements réalisés dans une tournée constituent statistiquement une grappe. La précision dans la caractérisation des tournées est donc soumise à un effet de grappes.

Traitement des non-réponses. Dans un premier temps, nous avons calculé les profils des variables descriptives des mouvements et des tournées, selon leurs coefficients de redressement respectifs. Lorsque les profils des variables de redressement sur les non-réponses de ces variables ne différaient pas significativement des profils de la population totale, les pourcentages obtenus ont été affectés au nombre total de mouvements redressés, afin d'obtenir des quantités interprétables à l'échelle de l'agglomération.

3.5. ADMINISTRATION DES ENQUÊTES

3.5.1. La méthode de Bordeaux

Les établissements. Afin d'obtenir une estimation statistique des variables essentielles à l'intérieur de chaque strate, un nombre de 30 établissements par strate a été assuré. 1 500 établissements ont été enquêtés. Chacun a fourni en moyenne 4,5 fiches concernant autant de types de mouvements (6 600 fiches) effectués par un opérateur de transport différent. Les mouvements qui n'ont pas été réalisés lors de la semaine d'enquête mais effectués régulièrement ont été décrits sur des fiches dites fictives (en moyenne, une fiche par établissement). Les doubles comptes ont été corrigés. La nature des produits et le cheminement de chaque envoi d'un mouvement ont été décrits dans 8 300 lignes de produits. Une majorité des mouvements est donc composée d'un seul envoi.

Les chauffeurs. 6 000 questionnaires ont été remis aux chauffeurs-livreurs par les établissements enquêtés. 925 d'entre eux ont été retournés par la poste, ce qui représente 17 % des questionnaires remis aux chauffeurs par les établissements. 903 questionnaires ont été validés et ont pu être reliés à l'établissement enquêté.

Les transporteurs. Parmi les entreprises de transport qui sont intervenues le plus fréquemment auprès des établissements, 69 ont fait l'objet d'une enquête spécifique. Ces dernières ont réalisé 80 % des livraisons ou enlèvements pour compte d'autrui. La description qu'ils ont faite de leur organisation logistique est donc bien représentative de la totalité du compte d'autrui à Bordeaux.

3.5.2. Autres méthodes de collecte

Afin de contrôler la reproductibilité des résultats de l'enquête de Bordeaux, deux enquêtes similaires ont été réalisées dans les agglomérations de Marseille (1,2 millions d'habitants) et Dijon (240 000 habitants) en 1996-97. L'approche et les objectifs étaient les mêmes, mais la méthode de collecte a été modifiée. Plusieurs modes d'administration ont été testés à chaque niveau (établissement, chauffeur-livreur, transporteur) et selon les villes.

A **Marseille et Dijon**, les enquêtes auprès des établissements ont pu être réalisées par des interviews téléphoniques assistés par ordinateur (méthode CATI), auprès de 2 000 entreprises à Marseille, 1 000 à Dijon. Trop longue et complexe à administrer, cette méthode a été rapidement remplacée par un appel téléphonique et l'envoi d'un questionnaire par la poste. L'interviewé répondait par courrier ou au téléphone.

L'enquête chauffeur-livreur de Bordeaux avait été très satisfaisante, mais il manquait la description des activités desservies, du poids et du conditionnement des différents chargements et enlèvements. Au lieu de donner le questionnaire au chauffeur lorsqu'il livrait l'établissement, les enquêtes chauffeurs se sont déroulées dans l'entreprise de transport chargée de livrer les établissements. Les enquêteurs interviewaient les chauffeurs, en face à face dans le cas de traces directes et embarquaient à bord du véhicule pour décrire les tournées complexes (plus de 30 points de livraison).

Une **enquête pilote** préliminaire a été effectuée à Lyon sur quelques 150 établissements. Elle a permis de contrôler l'acceptabilité du questionnaire et de s'assurer de la qualité des réponses apportées. Un contrôle systématique des variables stratégiques a été effectué au cours des enquêtes en vraie grandeur. Malgré ces précautions, à cause de la complexité du questionnaire, des variables stratégiques pour le redressement ou pour le calcul des mouvements n'avaient pas toujours de réponse, de nombreux contrôles téléphoniques ont été nécessaires pour parfaire l'apurement des différentes enquêtes.

3.5.3. Budget nécessaire

Le coût d'une enquête de ce type (enquête en face à face auprès de 1 500 établissements et divers modes d'administration pour l'enquête auprès des chauffeurs-livreurs avec un objectif de 1 000 questionnaires exploitables) s'élèverait à 700 000 euros (€ constants, base 1994).

4. LES DIFFÉRENTES ÉTAPES ET LES RÉSULTATS OBTENUS

4.1. LA GÉNÉRATION DES MOUVEMENTS

Afin d'obtenir des estimations non biaisées du nombre de mouvements générés dans l'agglomération lors de la semaine d'enquête, nous avons pondéré chaque établissement par le rapport entre le taux de sondage dans sa strate et le taux de sondage global (3,8 % en moyenne). On obtient ainsi des moyennes pondérées du nombre de mouvements générés par les établissements selon leurs caractéristiques sur lesquelles nous avons effectué les tests d'analyse de la variance avec un nombre de degrés de liberté du même ordre que la taille de l'échantillon. Les éléments les plus significatifs de la génération des mouvements sont essentiellement relatifs à la taille et à la nature de l'activité de l'établissement (Tableau 1). La présence d'aménagements pour le chargement et le déchargement des marchandises ou la nature des lieux de

stationnement disponibles (possibilités de parking, privé, public, payant...) sont également liées à la génération des mouvements en raison notamment de leur dépendance structurelle avec l'activité et la taille des établissements.

*Tableau 1 : Les caractéristiques des établissements
significativement liées à la génération des mouvements*

Caractéristiques des établissements	Nb. de classes	Probabilité critique
Classes d'activités	28	<1 ‰
Types d'activités	7	<1 ‰
Effectif salarié	14	<1 ‰
Chiffre d'affaires	9	<1 ‰
Aménagements	2	<1 ‰
Lieux de stationnement	5	<1 ‰

Si l'on se concentre sur l'exemple de Bordeaux (1995), on observe qu'une forte corrélation du nombre de mouvements par emploi avec la taille de l'établissement existe, quelle que soit la strate de l'échantillon. Aussi, cette typologie a pu être affinée par une post-stratification en classes plus homogènes vis-à-vis du nombre de mouvements générés par emploi tout en conservant un effectif statistiquement acceptable. 72 post-strates ont ainsi été constituées, sur la base d'une analyse de la variance du nombre de mouvements par emplois suivant les deux critères de classes d'effectif salarié et de strate d'activité. Alors que la variance du nombre de mouvements par établissement expliquée par les 37 strates est de 30 %, celle de la post-stratification s'élève à 55 %.

Le Tableau 2 présente un extrait des 72 post-strates. Les deux dernières colonnes présentent un résultat essentiel de l'enquête, le nombre moyen de mouvements (livraisons ou enlèvements) réalisés chaque semaine pour un emploi et par établissement de chaque post-strate. Quatre types de situations particulières ont également été identifiés à Bordeaux (Tableau 3).

Au delà de ces résultats désagrégés, l'enquête a montré qu'en 1995, 270 000 livraisons ou enlèvements sont réalisés chaque semaine dans l'agglomération. Le nombre moyen de livraisons ou enlèvements par semaine pour un emploi est de 1,1. Sur l'ensemble des mouvements, la part des livraisons (incluant les livraisons et enlèvements conjoints) est de 61 %. 56 % des livraisons et enlèvements sont réalisés en compte-propre. 52 % le sont en véhicules légers (<3,5 T) et 75 % le sont lors de tournées qui représentent 25 % des parcours réalisés par les véhicules de livraison. Les petits établissements (<5 emplois) en réalisent 50 % tandis que la part du commerce de détail atteint 33 %.

Tableau 2 : Les post-strates calculées sur Bordeaux (extrait)

Secteur d'activité (8 classes)	Libellé du type	Tranche d'effectif salarié	Nombre moyen de livraisons et enlèvements par semaine pour un emploi par établ.	
Petit commerce	Boulangeries, Pâtisseries	aucun	6,9	11
""	""	1 ou 2	3,6	8
""	""	3 à 5	2,4	11
""	""	6 et +	1	20
""	Cafés, Hôtels, Restaurants	aucun	3,6	5
""	""	1 ou 2	2,7	9
""	""	3 et +	1,15	24
""	Commerce d'ameublement	aucun	2,6	5
""	""	1 à 5	1,3	4
""	""	6 et +	0,4	16
""	Commerce Non Sédentaires	aucun	4,9	5
""	""	1 ou +	3,25	10
""	Épiceries, Alimentation	aucun	5,3	8
""	""	1 ou +	1,7	10
""	Librairies Papeteries	aucun	8,2	10
""	""	1 ou 2	6,7	11
""	""	3 à 5	3,8	14
""	""	6 et +	0,5	9

Tableau 3 : Les activités spécifiques ou rares identifiées sur Bordeaux

Secteur d'activité (8 classes)	Libellé du type	Tranche d'effectif salarié	Nombre moyen de livraisons et enlèvements par semaine pour un emploi par établ.	
Entrepôts	Docks des Pétroles	-	44,6	1 872
Entrepôts	Silos agricoles	-	70	840
Mines / carrières	Carrières (faible activité)	1 à 5	2,3	7
Mines / carrières	Carrières (forte activité)	6 et +	70	650

4.2. L'ORGANISATION ET LES FLUX

La taille moyenne d'une tournée est de 13 positions (19 positions en compte d'autrui, 11 en compte propre expéditeur, 5 en compte propre destinataire). Plus généralement, pour chaque type d'activité, chaque type de véhicule (VUL <3,5 T, camions porteurs, ensembles articulés), chaque mode de gestion (compte d'autrui, expéditeur, destinataire), chaque mode d'organisation (trace directe, tournées de différentes tailles), les nombres de livraisons ou enlèvements ont été calculés.

L'analyse des parcours décrits par les chauffeurs a permis de calculer des indicateurs utiles pour l'évaluation de l'occupation de la voirie :

- le nombre de kilomètres parcourus chaque semaine par les différents

types de véhicules dans l'agglomération, ainsi que le nombre moyen de km parcourus par livraison (8 km à Bordeaux, 6 km à Marseille, 4 km à Dijon). Ces résultats ont permis de montrer la corrélation entre la taille et la densité de la ville avec les distances moyennes parcourues.

- le nombre d'heures de stationnement pour livraison (avec une précision sur le stationnement en double file). 80 % des livraisons étaient réalisées en moins de 10 minutes. Dans le centre de Bordeaux, et pour un jour ordinaire, la durée totale de stationnement en double file était deux fois supérieure à la durée de circulation de l'ensemble des véhicules de livraison.

4.3. LA PLACE DU TMV DANS LE TRAFIC URBAIN

Des enquêtes et études complémentaires à ces grandes enquêtes ont permis de mesurer la part des différentes composantes du transport de marchandises en ville (en EVP*km¹). Avec cette unité de mesure, les échanges entre établissements (livraisons et enlèvements) génèrent 40 % de l'ensemble des trafics de marchandises en ville, les déplacements d'achats motorisés 50 % et ceux réalisés pour la gestion urbaine (chantiers, réseaux...) 10 %. Selon cette définition, la part du transport de marchandises en ville dans l'ensemble du trafic motorisé est de 9 à 13 % des déplacements, de 13 à 20 % des véhicules*km et de 15 à 25 % des EVP*km.

Les enquêtes ont montré que le transport de marchandises en ville représente donc non seulement un enjeu quantitatif important (plus de 20 % de la consommation énergétique du transport urbain motorisé, plus du tiers des NOx et du SO₂, près de la moitié des émissions de particules ; SEGALOU et al., 2006) mais aussi un enjeu économique majeur relativement à l'accessibilité et la vitalité des zones centrales, la congestion et l'étalement des activités.

4.4. LES RÈGLES DE FONCTIONNEMENT DE LA LOGISTIQUE URBAINE

Une des principales contributions des enquêtes est la mise en évidence des règles de fonctionnement de la logistique urbaine (liens entre activités, mode d'opération et de gestion des déplacements, types de véhicules utilisés, distance parcourue, nombre d'établissements desservis, temps de parcours, lieu, période et durée de stationnement).

Le nombre de livraisons et enlèvements, le mode de gestion et d'organisation sont directement liés au type d'activité. Les relations suivantes ont été mises en évidence entre :

- le mode de gestion et le mode d'organisation (le compte propre destinataire opère davantage en trace directe, les professionnels réalisent des tournées) ;

¹ EVP : équivalent voiture particulière, soit 1 VUL = 1,5 EVP ; 1 Camion porteur = 2 EVP ; 1 ensemble articulé = 2,5 EVP.

- le type de véhicule et le mode de gestion (le compte propre utilise davantage les véhicules utilitaires légers, les transporteurs utilisent des camions) ;
- les distances parcourues et les modes de gestion et d'organisation (les tournées des transporteurs sont plus longues que celles du compte propre, mais desservent un nombre beaucoup plus important de positions) ;
- la distance parcourue entre 2 arrêts et la taille de la tournée (plus la tournée est longue, plus la distance entre 2 arrêts est courte) ;
- la durée de stationnement et la taille de la tournée (plus la tournée comporte d'arrêts, plus le temps d'arrêt est court).

Un très important résultat réside dans le fait que ces mêmes relations existent dans les trois villes enquêtées. La comparaison des résultats des trois enquêtes de transport de marchandises en villes françaises a montré une similarité notable en termes de diagnostic, concernant notamment le nombre de livraisons occasionnées par chaque type d'activité à l'intérieur de chaque classe d'activité, le nombre de livraisons réalisées selon le type de véhicules, la part du compte propre, la part des différents types de tournées. Cela montre bien que la structure économique et l'organisation logistique prévalent sur la taille et la géographie des villes.

Il a été ainsi possible de transférer les résultats de ces enquêtes à d'autres villes et de construire un modèle général applicable aux villes européennes et françaises.

4.5. LES INDICATEURS

Les indicateurs traditionnels des transports de marchandises de longue distance sont les tonnes transportées ou les tonnes*km, la quantité d'énergie consommée par tonne*km ou encore les kilomètres parcourus à vide. Pris tels quels, ils sont peu pertinents au niveau urbain. Par exemple, le gazole consommé par tonne*km est pertinent pour mesurer l'impact du transport de fret entre deux régions, notamment pour simuler un partage modal rail-route. En revanche, transporter une tonne de marchandise donnée dans la ville peut être réalisé de multiples façons (selon le nombre d'envois, la taille des véhicules, le nombre de colis), variété qui ne peut être appréhendée qu'à travers une étude approfondie de la génération des livraisons et des organisations correspondantes. Il en va de même de la mesure du retour à vide dont le calcul nécessite de connaître le diagramme de charge de chaque véhicule.

Le Tableau 4 montre la richesse des indicateurs qui peuvent être calculés grâce aux enquêtes « établissements-chauffeurs » sur les marchandises en ville.

Tableau 4 : Les indicateurs produits par les enquêtes TMV

Nom et description de l'indicateur	Unité de mesure de l'indicateur	Objet de l'indicateur et mesures permises :
Ratio de livraisons/enlèvements par emploi dans un secteur d'activité	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine par employé	Rapide évaluation de la génération des livraisons/enlèvements dans la ville sans nouvelle enquête. La contribution de chaque secteur d'activité est calculable
Densité de livraisons/enlèvements dans une zone	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine par km ²	Importance des flux de véhicules de marchandises dans une zone
Intensité de livraisons/enlèvements d'un secteur d'activité dans une zone	Nombre de livraisons/enlèvements par semaine	Contribution de chaque secteur d'activité au trafic de marchandises en ville par zone
Durée de livraisons/enlèvements en double file pour livrer ou enlever un secteur d'activité dans une zone	Nombre d'heures	Contribution de chaque secteur d'activité à la congestion de la voirie par le stationnement sur voirie en double file par zone
Distance moyenne parcourue pour livrer ou enlever un secteur d'activité avec un type de véhicule	Nombre de km	Contribution des différents types de véhicules qui livrent chaque secteur d'activité à la congestion de la voirie
Longueur de la marche d'approche de la plate-forme au lieu de livraison	Nombre de km	Impact du lieu d'implantation de la plate-forme livrant les produits concernant son aire de marché
Distance moyenne nécessaire pour livrer/enlever	Km par livraisons/enlèvements	Contribution des livraisons/enlèvements au trafic urbain (par type de véhicule impliqué)
Distance totale parcourue dans l'aire urbaine par les véhicules de marchandises	Véhicules*km par semaine	Contribution de l'activité totale à la génération du trafic motorisé urbain
Durée moyenne d'une livraison/enlèvement (par secteur d'activité, type de véhicule, mode de gestion)	Minutes par livraison	Temps de livraison lors d'un parcours, sur la route, pour un secteur d'activité, un type de véhicule, un mode de gestion
Vitesse moyenne par tournée (comprenant ou excluant les arrêts pour livrer)	Km/h	Performance des tournées pour chaque mode d'organisation, type de véhicule
Poids transporté au kilomètre par trajet selon le secteur d'activité, le type de véhicule, le mode de gestion	Tonne (ou kg)*km	Performance des tournées pour chaque mode d'organisation, type de véhicule...
Consommation d'énergie, pollution, effet de serre selon la zone, le véhicule, l'activité, le mode de gestion (totale ou par mouvement)	- tonnes de gazole - kg polluant (Nox, SO ₂ , CO, PM,...) - kg CO ₂	Impact des mouvements de marchandises sur la consommation d'énergie, les nuisances locales et globales et les gaz à effets de serre

Comme indiqué dans la troisième colonne, chaque indicateur contribue à un diagnostic complet du transport urbain de marchandises et aide à mesurer l'implication des différents secteurs d'activité dans les mouvements de marchandises en ville et apporte de précieuses informations sur la part des modes de gestion (compte propre, compte d'autrui) et d'organisation (taille des véhicules, taille des tournées). Cette méthode d'enquête a permis de construire un outil prometteur pour améliorer la connaissance des liens entre les besoins d'échanges de marchandises des activités économiques entre elles et le système de transport à l'échelle de la ville, tout en incluant les principaux composants d'une évaluation environnementale.

5. CONCLUSION

5.1. UNE ENQUÊTE POUR L'AIDE À LA DÉCISION

La spécificité et la contribution des enquêtes françaises établissements-chauffeurs consistent en :

- la prise en compte de l'exhaustivité du transport de marchandises en ville ;
- le couplage de la méthode d'enquête aux objectifs (diagnostic, connaissance de la demande, lien entre génération et développement des flux, simulation de scénarios d'orientation des politiques) ;
- une pondération qui permet de calibrer la méthode pour le planificateur (génération de livraisons et enlèvements, distances parcourues en fonction du secteur d'activité, de chaque mode de gestion et d'organisation).

La comparaison des résultats des enquêtes réalisées dans les trois villes a montré une similarité statistiquement validée de nombreux indicateurs et relations fonctionnelles :

- dans chaque post-strate, le nombre moyen de livraisons ou enlèvements générés par emploi ou par établissement, la part des différents types de véhicules (VUL<3,5 T, camions porteurs, ensembles articulés) utilisés, la part du compte propre (expéditeur ou destinataire) et du compte d'autrui ;
- la répartition des tailles de tournées selon le mode de gestion ;
- la durée des livraisons ou enlèvements selon la taille des tournées, le mode de gestion et le type de véhicule ;
- la répartition horaire des livraisons et enlèvements dans la journée ;
- la longueur des trajets (marche d'approche, trajet entre deux livraisons, trace directe) selon le mode de gestion, la taille des tournées et le type de véhicule, corrigée par la densité des zones génératrices ou la taille de la ville.

Il existe donc une invariance géographique des principaux indicateurs et relations fonctionnelles entre l'activité économique et le système de transport.

Cela nous a permis de mettre en relation l'ensemble de ces indicateurs dans un processus de modélisation pour l'aide à la décision. Le modèle Freturb (ROUTHIER et al., 2001) a été développé et calibré sur les résultats agrégés de ces enquêtes.

5.2. QUEL AVENIR POUR CE TYPE D'ENQUÊTES ?

La qualité des enquêtes marchandises en ville réside pour l'essentiel dans leur capacité à apporter aux décideurs locaux et nationaux des informations qui les aident à prendre des décisions sur leur territoire. Sur la base des exemples analysés précédemment, nous suggérons ci-dessous quelques conditions pour y parvenir :

- Dans un souci d'exhaustivité, les enquêtes doivent appréhender le compte propre comme le compte d'autrui, l'ensemble des échanges de biens réalisés sur le territoire, concerner aussi bien les petits que les gros établissements ainsi que tous les types de véhicules utilisés.
- L'association d'une enquête auprès des générateurs (les établissements) et d'une enquête auprès des chauffeurs-livreurs apparaît comme l'approche la plus efficace pour faire le lien entre la demande des acteurs économiques et l'offre de transport (organisation de la logistique urbaine).
- Le choix du mouvement comme unité statistique permet de faire le lien entre les conditions de formation des flux (livraisons et enlèvements de marchandises dans les établissements) et les conditions de réalisation du transport (divers modes de gestion, modes d'organisation du transport en tournées, types de véhicules utilisés).
- Le tirage d'un échantillon d'établissements stratifié selon le type d'activité et le nombre d'emplois permet d'améliorer significativement la précision des coefficients de génération des livraisons et enlèvements et du redressement des résultats à la ville tout entière qui en découle. Ce redressement est facilité par l'usage d'un registre exhaustif d'établissements disposant de ces informations de base.
- La relation entre les établissements et les chauffeurs enquêtés dépend du mode d'administration de l'enquête « chauffeurs ». Afin d'assurer la cohérence entre les deux enquêtes, un redressement doit être effectué sur les données des chauffeurs car ces derniers ne sont pas interrogés de manière aléatoire.
- Du fait de la complexité des questionnaires, une partie des enquêtes doit le plus souvent possible être réalisée en face à face, notamment pour la remise du carnet de bord dans les établissements et pour le suivi des tournées complexes.

Le respect de ces conditions garantit la possibilité de redresser les résultats sur les échantillons et permet de mesurer simultanément l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison en circulation et en stationnement. Cela permet aussi d'expliquer les conditions de transport urbain de marchandises

par le fonctionnement logistique des firmes et de construire un modèle de simulation pour l'aide au diagnostic et l'aide à la décision.

En France, une étape importante a été franchie avec la réalisation des enquêtes de 1995-97. Elles ont montré leur capacité en termes d'aide au diagnostic. La version 3 du modèle Freturb (ROUTHIER, TOILIER, 2007) permet de simuler sans enquête spécifique l'impact du transport de marchandises sur l'occupation de la voirie et l'environnement (pollution et gaz à effet de serre). Les ratios et relations fonctionnelles qui ont permis le calage du modèle datent de près de 15 ans. Si la constance des relations fonctionnelles d'une ville à l'autre a permis de constater leur résistance dans l'espace, se pose maintenant la question de leur résistance dans le temps. Une nouvelle enquête devrait être réalisée en 2009 selon la même méthodologie. Cela permettra de mesurer les évolutions de la logistique urbaine de ces quinze dernières années. Plusieurs améliorations seront apportées : une meilleure prise en compte des livraisons à domicile, de l'activité des entrepôts, de l'usage des deux roues. L'usage du GPS dans les enquêtes embarquées (MARCHAL et al., 2007) devrait permettre d'améliorer la connaissance fine des itinéraires. Il serait souhaitable que ces enquêtes puissent être renouvelées au même rythme que les enquêtes « déplacements des ménages » (de l'ordre de 10 ans) afin de mieux rendre compte des effets des modifications des comportements d'achats des ménages et de la mobilité urbaine en générale sur les organisations logistiques et les approvisionnements.

Au-delà du pur objectif de connaissance des flux, ces enquêtes associent le jeu des localisations des activités et les flux de transport dans l'espace urbain. Leur renouvellement doit également permettre de développer la connaissance des relations entre les dynamiques des flux d'approvisionnement et des localisations des activités à travers les modèles conjoints d'analyse spatiale de l'usage des sols et des transports.

RÉFÉRENCES

- AMBROSINI Ch., ROUTHIER J.-L. (2004) Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison. **Transport Review**, Vol. 24, n° 1, pp. 57-77.
- BONNAFOUS A. (2000) Les marchandises en ville : le problème méthodologique de l'appréhension statistique. In CENTRE JACQUES CARTIER, D. PATIER (Eds.) **Treizièmes entretiens Jacques Cartier - Actes du Colloque L'intégration des marchandises dans le système de déplacements urbains, 1-6 octobre, Montréal**. Lyon, LET, pp. 85-92 (Coll. Etudes et Recherches, n° 15).
- BROWNE M., ALLEN J. (2006) **D 3.1 Best practice in data collection, modelling approaches and application fields for urban transport models. I. Theme: Urban freight data collection-synthesis report**. Best urban Freight Solutions II-EU-FP6 Co-ordination Action, 119 p.

BROWNE M., ALLEN J., WOODBURN A., PATIER D., ROUTHIER J.-L., AMBROSINI C. (2007) Comparison of urban freight data collection in European countries. Paper for the **11th WCTR**, Berkeley, CD-Rom.

CERTU, ADEME (1998) **Plans de déplacements urbains – Prise en compte des marchandises. Guide méthodologique**. 147 p.

CHOLEZ C., PATIER D., ROUTHIER J.L. (2004) **Transport de marchandises en ville, quelles spécificités, quelles méthodes ? Volet 2 - Analyse des entrepôts périphériques**. Lyon, LET, 52 p. (Rapport pour la DRAST-MELT).

GENTILE G., VIGO D. (2007) **Movement generation and trip distribution for freight demand modelling applied to city logistics**. Technical Report DEIS OR.INGCE 2007/3.

DUFOUR J.G. (1995) **Exploitation de l'enquête « Chargeurs » de l'INRETS, en termes de marchandises en ville**. CETUR.

HUNT J.D., STEFAN K.J., BROWNLEE A.T. (2005) An establishment based Survey of Urban Commercial Vehicle Movements in Alberta: Survey Design, Implementation and Results. **TRB annual meeting CD-Rom**.

GARRIDO R.A. (2001) Insights on freight and commercial vehicle data needs. In **ITSC Costa Rica conference proceedings**, Elsevier.

IAURIF (2004) **Le transport de marchandises par VUL en Ile-de-France**. Paris, 190 p.

INDING M., MEESTER W.J., TAVASSZY L.A (2002) Freight trip generation by firms. **42nd congress of the ERSA**, Dortmund.

LET, GÉRARDIN CONSEIL (2001) **Diagnostic du Transport de Marchandises en Ville. Guide technique**. MELT, ADEME, 88 p.

MARCHAL F., HACKNEY J., AXHAUSEN K.W. (2005) Efficient map-matching of large GPS data sets - Tests on a speed monitoring experiment in Zurich. **Transportation Research Record**, n° 1935, pp. 93-100.

OECD (2003) **Delivering the Goods: 21st Century Challenges to Urban Goods Transport**. <http://www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?TAG=X8OWU8XX4X7X9945977HWN&CID=&LANG=EN&SF1=DI&ST1=5LMQCR2K2N5H>.

PATIER D., CHOLEZ C., ROUTHIER J.-L., AMBROSINI C. (2004) **Transport de marchandises en ville quelles spécificités, quelles méthodes – volet 3 : Méthodologie des enquêtes tournées dans les agglomérations urbaines**. LET, 36 p. (Rapport pour la DRAST-MELT).

PATIER D., ROUTHIER J.-L. (1997) Livraisons de marchandises en ville. **Transport Environnement Circulation**, 1997-12, pp. 8-14.

PATIER D., ROUTHIER J.-L. (2009, à par.) How to improve the capture of urban goods movement data? Freight and Transit Planning. In P. BONNEL, J. ZMUD, M. LEE GOSSELIN, J.-L. MADRE (Eds.) **Transport Survey Methods: Keeping up with a Changing World**. United Kingdom, Emerald Group Publishing.

PATIER D., ROUTHIER J.-L., AMBROSINI Ch. (2000) **Transport de marchandises en ville : Enquêtes quantitatives réalisées à Dijon et Marseille**. LET, 120 p. (Rapports finaux MELT-DRAST).

PATIER D., ROUTHIER J.-L., AMBROSINI Ch., DURAND S., BOSSIN P., GELAS P., LE NIR M. (1997) **Transport de marchandises en ville : Enquête quantitative réalisée à Bordeaux**. LET, 230 p. + annexes (rapport final MELT-DRAST).

RIZET C., GUILBAULT M., VAN MEIJEREN J.C., BIJSTER E., HOUEE M. (2004) Tracking along the transport chain with the shipper survey. In **ITSC Costa Rica conference proceedings**, Elsevier.

ROSINI R. (2005) **City Port Project**. Regione Emilia Romagna, Assessorato Mobilità e trasporti, 207 p.

ROUTHIER J.-L., SEGALOU E., DURAND S. (2001) **Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville-Le modèle de simulation FRETURB. Guide technique**. MELT, ADEME, LET, 104 p.

ROUTHIER J.-L., TOILIER F. (2007) FRETURB V3, a policy oriented software tool for modelling urban goods movement. **CD-Rom 11th WCTR**, Berkeley.

SEGALOU E., ROUTHIER J.-L., ALBERGEL A., DE RHAM C. (2006) **Méthodologie pour un bilan environnemental physique du transport de marchandises en ville**. ADEME, 88 p. (Ed. Connaître pour agir).

SESP (2005) **Le transport léger - Situation et perspectives**. Rapport du cabinet Samarcande.

TRB (2003) A Concept for a National Freight Data Program Committee on Freight Transportation Data: A Framework for Development. **Transportation Research Board Special Report 276**, Washington D.C.

WERMUTH M., NEEF C., STEINMEYER I. (2004) Goods and Business Traffic in Germany. In **ITSC Costa Rica conference proceedings**, Elsevier.

WSP, KATALYSIS (2002) **Report B4-Review of Data Sources, Review of Freight Modelling**. Report produced as part of Review of Freight Modelling project with University of Westminster, University of Leeds, Rand Europe, MDS-Transmodal, Oxford Systematics, Parsons Brinckerhoff and Imperial College (http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_econappr/documents/page/dft_econappr_507986.pdf).

<http://www.bestufs.net>

<http://www.citylogistics.org>

<http://www.transports-marchandises-en-ville.org>